Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 28, No. 1 pp.9-19, February 2009

하지 자세가 근전도, 심박수 그리고 불편도에 미치는 영향분석

공용구[1] · 김대민[1] · 이수진[2] · 이재훈[2] · 이용호[2] · 이경숙[3] · 손성태[1]

[1]성균관대학교 산업공학과 / [2]한양대학교 산업의학교실 / [3]농촌진흥청 농촌자원개발연구소

Evaluation of the Effects of Lower-limb Postures on the Subjective Discomfort, Heart Rate and EMGs of Lower Extremity Muscles

Yong-Ku Kong[1], Dae-Min Kim[1], Soojin Lee[2], Jae-Hoon Lee[2], Yong-Ho Lee[2], Kyung-Suk Lee[3], Seong-Tae Sohn[1]

[1]Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746
[2]Department of Occupational and Environmental Medicine, Hanyang Uiversity, Seoul, 133-791
[3]Rural Resources Development Institute, Rural Development Administration, Suwon, 441-707

ABSTRACT

Repetitive movement, inadequate working posture, overuse of force, physical contact with sharp edge, vibration and temperature were well known risk factors of WMSDs (Work-related Musculoskeletal Disorders). Many researchers have investigated the relationship between inadequate working postures and incidences of WMSDs of the upper extremities, whereas relatively few researchers have tried to evaluate workload associated with the lower-body postures. The effects of lower-limb postures including various knee flexion angles on the subjective discomfort, heart rate and EMG of lower-limb muscles were investigated in this study. Thirty graduate students were asked to maintain thirteen different body postures, and heart rate and EMG data of five muscle groups (electro spine, biceps femoris, vastus medialis, gastrocnemius and tibialis anterior) from each posture were collected during fifteen minutes sustaining tasks. All participants were also asked to report their discomfort ratings of body parts. Results showed that high subjective discomfort ratings and heart rates were reported at the postures of knee angles of 60° and 90°, whereas low discomfort ratings were founded at the postures of chair heights with 20cm, 40cm, and sitting with crossed legged. The change of median frequency for each muscle group during fifteen minutes tasks was investigated for each body posture to evaluate the relationship between muscle fatigue and body posture. It was found that the trends of changes of median frequency were different based on muscle group as well as lower-limb body posture from this study.

Keyword: Knee Angles, WMSDs, EMG, Subjective Discomfort Rating, Heart Rate

교신저자: 손성태
주 소: 440-746 경기도 수원시 장안구 천천동 300, 전화: 031-290-7629, E-mail: stsohn37@skku.edu

1. 서 론

근골격계 질환은 반복적인 동작, 부적절한 작업자세, 무리한 힘의 사용, 날카로운 면과의 신체접촉, 진동 및 온도 등의 요인에 의하여 발생하는 건강 장해로서 목, 어깨, 허리, 상 · 하지의 신경 · 근육 및 그 주변 신체조직 등에 나타나는 질환이다. 특히, 근골격계 질환과 부적절한 작업자세와의 상관관계는 많은 연구에서 보고되고 있으며(Aras et al., 1988; Armstrong et al., 1993; Lee, 2004), 이러한 근골격계 질환의 요인으로서 작업자세에 대한 연구는 주로 상지, 어깨, 목, 허리 등의 상체를 대상으로 이루어졌으며, 하지에 대한 연구는 상체에 비해 상대적으로 적게 이루어져 왔다(Corlett et al., 1986; Bernard, 1997).

산업안전공단에서 실시한 산업재해 분석(2003~2005)을 보면 근골격계 질환 환자 중 하지 부위의 환자가 2003년에 7.4%(208건)에서 2004년에는 9.7%(232건)로, 2005년에는 10.8%(165건)로 비율이 증가하는 추세에 있다. 농진청 산하 농업인 건강안전 정보센터의 자료인 농림어업인의 주요 상병 및 건강행태 비교분석(2004)에 의하면 농림어업인의 인구 특성 별 연간 만성질병 유병자율에서 근골격계 질환의 유병률은 농어업종사자가 46.51%로 비농어업종사자인 19.53%보다 2배 이상 많았으며, 주요 만성질병에서도 관절염부분이 요통이나 좌골통보다 2배 이상 많은 것으로 나타나, 하지 부분에 대한 근골격계 질환위험도가 높은 것으로 보고되었다(그림 1과 2).

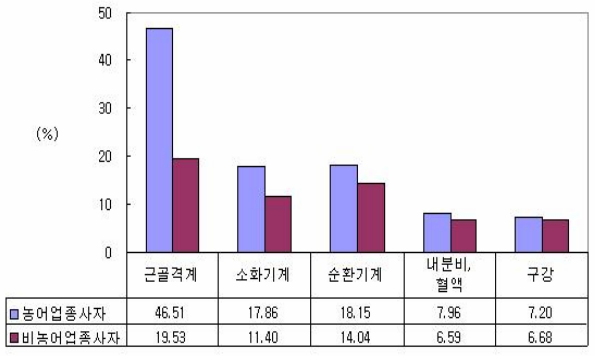


그림 1. 의사진단 질병분포: 연간 만성질병 유병자율
(농림어업인의 주요 상병 및 건강행태 비교분석 2004)

특히, 한국에서는 조선 작업, 자동차 조립 작업, 농작업, 기계 수리 작업 등 다양한 작업 현장에서 작업자들이 쪼그려 앉기를 비롯한 다양한 하지의 자세를 취한 채 작업을 수행하고 있는 것으로 보고되었지만(Lee and Chung, 1999; Chung et al., 2002), 이러한 다양한 하지 자세들에 따른

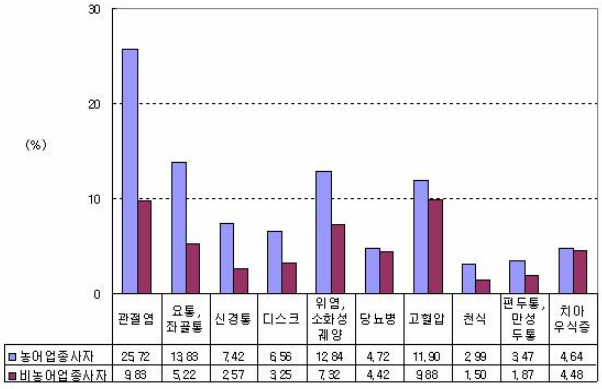


그림 2. 의사진단 연간 주요 만성질병: 유병자율
(농림어업인의 주요 상병 및 건강행태 비교분석 2004)

하지 근육들의 부하에 대한 평가나 연구가 부족한 것이 현실이다(이인석, 1997; 이인석과 정민근, 2002; 김유창과 류영수, 2005).

이인석과 정민근(1997)은 쪼그려 앉는 여러 작업자세에 대한 작업부하 평가에서, 작업용 받침대의 유무 및 높이와 작업의 지속시간이 작업자의 신체적 작업부하에 미치는 영향을 주관적 불편도를 통해 평가하였고, 이인석 외(2002)는 심물리학적 방법을 이용한 다양한 하지 자세의 부하 평가에서 하지의 자세에 대하여 정적인 자세를 유지한 후 피실험자가 느끼는 주관적 불편도를 평가하여, 하지 자세간의 부하 수준을 비교하였다. 김유창과 류영수(2005)는 쪼그려 앉은 작업에 대한 신체부담작업 평가에서 쪼그려 앉은 작업자세와 관련된 근골격계 질환의 실태를 조사하기 위해서 철도차량 정비 등에 종사하는 국내 작업자들을 대상으로 설문조사를 통하여 평가하였다. 주관적 불편도 이외에 근육의 피로도를 알아보기 위하여 EMG를 사용하기도 하는데 기존 사례들을 보면 이상도와 심정훈(2005)은 작업형태에 따른 힘 발휘, 작업자세 그리고 작업-휴식 주기를 고려한 실험설계를 통하여 손, 전완, 상완 그리고 어깨 등의 상지와 관련된 작업피로를 근전도(Electromyogram: EMG)의 RMS (root mean square)와 MPF(mean power frequency)값을 이용하여 평가하였고, 조영진(2001)은 산업현장에서 흔히 볼 수 있는 비틀림 들기 작업을 실험실 상황에서 조사하였는데 이때 근육의 활동도의 변화와 피로도의 변화를 비교평가하기 위해서 오른쪽 척추 세움근 근육의 RMS 값과 N_RMS 값에 대한 분석을 통하여 들기 작업을 할 때 비틀림 동작이 근육피로(fatigue)에 미치는 영향이 근육활동(activity)에 미치는 영향보다도 클 수 있다는 것을 간접적으로 보여주었다. 반면, 김유창(2005)은 정적인 앉은 작업자세에서 각도와 무게를 이용한 부하를 가지고 주관적 불편도의 경향을 분석하고 EMG 실험을 통해 근육활동을 평가

하였고, 김정룡(2002)은 반복적인 부하에 의한 근육피로의 누적효과와 휴식시간과의 관계를 근전도의 MPF(Median Power Frequency)를 사용하여 분석하였다.

상지의 자세와 관련하여 작업자의 작업부하를 예측하거나 평가한 연구에 비해 하지의 자세에 대한 연구의 미흡함은 이미 언급한 바 있다. 비록 몇몇 연구자들이 하지 자세에 따른 작업부하의 평가를 시도하였으나 대부분의 기존 연구들은 피실험자가 느끼는 주관적 불편도를 중심으로 부하를 평가하였으므로, 보다 객관적인 지표로서의 평가가 부족하다고 할 수 있다.

이에, 본 연구에서는 산업현장 및 농작업에서 발생할 수 있는 다양한 하지 작업자세들에 대한 작업자들의 주관적 불편도를 측정함과 더불어, 하지 근육들의 근전도와 심박수 등과 같은 객관적인 지표들을 함께 측정하고 평가함으로써, 여러 무릎각도의 하지 작업자세가 작업자의 작업부하에 미치는 영향에 대하여 연구하고자 하였다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 산업현장 및 농작업에서 발생할 수 있는 여러 하지 작업자세를 대상으로 한 실험으로, 피실험자들로부터 전신 및 국소 부위에 대한 주관적 불편도를 조사하였으며 해당 하지 근육 및 작업자세에 대한 근전도와 심박수를 측정하였다.

2.1 피실험자

본 연구에 참여한 피실험자들은 과거와 현재 허리와 하지에 근골격계 관련 질환의 경험이 없는 남자 대학생 및 대학원생 30명이 참여하였다. 전체 피실험자의 평균 연령은 27.3±3.1[세]이고, 신장 및 몸무게의 평균은 각각 170.6±1.7[cm]과 66.1±8.2[kg]이었다.

2.2 하지 자세

하지 자세에 대하여 다음과 같은 13가지 자세를 대상으로 연구하였다(표 1). 13가지 실험자세로는 우선 대 분류로 선 자세, 앉은 자세, 쪼그려 앉은 자세, 다리괴기로 분류하였다. 선 자세는 다시 무릎각도에 따라 무릎각도가 180도인 선 자세(STD), 무릎각도 150도(KF_150), 무릎각도 120도(KF_120), 무릎각도 90도(KF_90)로 나누었고, 앉은 자세에서는 의자높이 0cm로 앉은 자세(SC_0), 20cm로 앉은 자세(SC_20), 그리고 40cm로 앉은 자세(SC_40)와 책상다리로 앉은 자세(SF_CRS)로 나누고, 쪼그려 앉은 자세는 무릎각도 60도(KF_60), 무릎각도 30도(KF_30), 그리고 무릎각도 30도+까치발(KF_30C)로 나누었으며, 다리괴기 자세는 한 쪽 다리괴기 자세(KNL_1)와 양쪽 다리괴기 자세(KNL_2)로 각각 나누었다.

표 1. 본 연구에서 실시된 13가지 하지 자세

	대분류	소분류	기호	작업 자세
1	선자세	선자세	STD	
2		무릎각도 150	KF_150	
3		무릎각도 120	KF_120	
4		무릎각도 90	KF_90	
5	쪼그려 앉은자세	무릎각도 60	KF_60	
6		무릎각도 30	KF_30	
7		무릎각도 30+까치발	KF_30C	
8	앉은자세	의자높이 40cm	SC_40	
9		의자높이 20cm	SC_20	
10		의자높이 0cm	SC_0	
11		책상다리 앉은자세	SF_CRS	
12	다리괴기	한 쪽 다리괴기	KNL_one	
13		양 쪽 다리괴기	KNL_two	

2.3 하지 근육

각 작업자세에 따른 근육의 활동을 평가하기 위하여 허리 및 하지 관련 5개 근육을 선정하였다. 평가 근육으로는 척추의 신전을 담당하는 척추 세움근(Erector Spine, ES)과 대퇴의 신전 및 다리(무릎)의 굴곡과 신전을 관장하는 대퇴이두근(Biceps Femoris. BF)과 내측광근(Vastus Medials, VM), 그리고 발목의 신전, 무릎의 굴곡과 발목의 굴절을 관장하는 비복근(Gastrocnemius, GT)과 전경골근 (Tibialis Anterior, TA)을 각각 선정하였다. 그림 3은 본 연구에서 선정한 5가지 근육과 근전도 분석을 위한 electrode 부착 부위를 보여준다. 근전도의 부착 위치는 Perotto(2004)를 참조하였다.

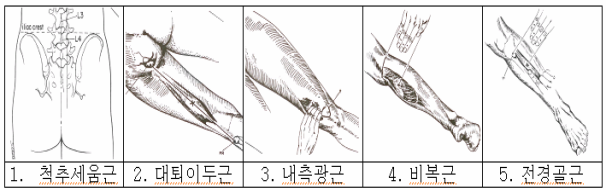


그림 3. 본 연구에서 평가된 하지 근육과 근전도 부착 위치 (Perotto, 2004)

2.4 실험 장비

선정된 5개의 근육에 부착하는 근전도 센서는 Biometrics 사의 SX230을 사용하였으며, 근전도 센서로부터의 근육 활동 데이터(1024Hz sampling rate)는 DataLINK의 Data Acquisition System을 통하여 수집되고 Biometrics Analysis Software를 이용하여 작업시간에 따른 작업자세에서의 5개 근육들의 Frequency를 각각 분석하였다.

여러 작업들을 수행하는 작업자들의 작업시간에 따른 심장박동수를 측정하기 위하여 피실험자의 심장박동수를 손목시계타입 수신기를 통하여 원격으로 송수신 할 수 있는 Polar RS 800을 사용하였다.

3. 실험 설계

3.1 실험 계획

농작업에서 주로 사용되는 13가지 자세에 대한 각 신체 부위별 불편도와 근육 별 근전도의 변화 그리고 심박수 등의 변화를 연구하기 위하여 독립변수로는 13가지 자세와 5가지 근육을 선정하였고, 종속변수로는 피실험자의 각 신체 부위와 전신에 대한 주관적 불편도, 심장박동수, 그리고 근전도의 MDF(median frequency)를 측정하여 분석하였다. 피실험자의 각 자세 별 주관적 불편도를 평가하기 위한 척도로서 피실험자의 전신에 대한 육체적 지각의 평가에 적합한 Borg-RPE 척도를 사용하였으며, 피실험자의 각 세부 신체 부위(즉, 허리, 허벅지, 종아리)에 대한 적합한 평가로서 Borg's 10 point 척도를 사용하였다.

3.2 실험 절차

모든 피실험자들은 본 실험에 참여하기 전 실험에 대한 목적과 실험 방법에 대한 설명을 충분히 들은 후에 실험참여 동의서에 서명을 한 뒤, 본인의 간단한 인적 사항에 대한 설문에 답을 하였다. 허리 및 하지 근육에 대한 근전도 평가를 위해 그림 3과 같이 5개의 근전도 센서를 각 근육에 부착하였다.

본 실험을 위해, 피실험자들에게 미리 무작위로 선정된 13가지 자세를 15분간씩 유지하게 하였다. 실험하는 동안 매 3분 마다, 피실험자는 각 신체 부위(허리, 허벅지, 종아리)에 대한 주관적 불편도를 Borg's 10 point로, 전신에 대한 주관적 불편도를 Borg's RPE로 각각 평가하였다. 또한 같은 시간에 피실험자의 심박수도 함께 기록하였다. 피로도의 영향을 줄이기 위해 피실험자들은 각 자세 별 측정 후 15분간 충분한 휴식을 취하였다. 실험하는 동안의 각 근육별 근전도 데이터의 MDF는 DataLINK system을 통해 기록된 뒤, 실험이 끝난 후에 분석되었다.

4. 실험 결과

4.1 개인 불편도

4.1.1 각 자세 및 신체 부위별 평균 불편도

전신과 각 신체 부위 즉 허리, 허벅지와 종아리 부분에 대한 평균 불편도를 통계적으로 분석한 결과 작업자세에 대해 모두 유의한 결과를 보였다($p < .05$). 표 2는 자세 별 전신 및 국소 부위에 대한 평균 불편도의 결과를 나타내고 있다.

전신에 대한 불편도는 무릎각도 60도(KF_60)와 90도(KF_90), 그리고 120도(KF_120)에서 높은 불편도를 보인 반면, 의자높이 40cm (SC_40), 20cm(SC_20), 0cm (SC_0)의 앉은 자세와 책상다리 앉은 자세(SF_CRS), 선 자세(STD)에서 낮은 불편도를 보임을 알 수 있었다.

국부 신체 부위에 대한 불편도에 대한 분석에서, 허리, 허벅지, 종아리의 경우에도 대체적으로 전신에 대한 불편도와 비슷한 유형을 보였다. 우선, 허리의 경우에는 무릎각도 60도, 90도 그리고 의자높이 0cm에서 높은 불편도를 보였으며, 선 자세와 의자높이 20cm, 40cm, 그리고 무릎각도 150도에서 낮은 불편도를 보였다. 허벅지도 역시 무릎각도

표 2. 자세 별 전신 및 국소 부위에 대한 불편도

작업자세	전신	작업자세	허리	작업자세	허벅지	작업자세	종아리
SC40	7.3^{A}	STD	1.2^{A}	SC40	0.5^{A}	SC40	0.5^{A}
SF_CRS	7.7^{A}	SC40	1.3^{A}	SC20	0.6^{A}	SC20	0.6^{A}
SC20	7.7^{A}	SC20	1.5^{A}	SF_CRS	1.0^{B}	SF_CRS	1.1^{A}
STD	8.5^{A}	SF_CRS	1.8^{A}	SC0	1.6^{B}	SC0	1.5^{A}
SC0	10.0^{A}	KF150	1.9^{A}	STD	1.6^{B}	STD	1.8^{A}
KF150	12.2^{B}	KF30C	2.1^{B}	KF30	4.0^{C}	KF150	4.0^{B}
KF30	12.3^{B}	KNL-1	2.4^{C}	KNL-1	4.2^{C}	KF130	4.9^{C}
KF30C	13.7^{B}	KF30	2.7^{C}	KNL-2	4.3^{C}	KF30	5.3^{C}
KNL-1	13.9^{B}	KNL-2	2.8^{C}	KF30C	4.3^{C}	KNL-2	5.9^{C}
KNL-2	14.3^{B}	KF120	3.2^{C}	KF150	4.5^{C}	KNL-1	5.9^{C}
KF120	15.4^{C}	KF90	3.3^{D}	KF120	7.2^{D}	KF90	6.0^{D}
KF90	17.3^{D}	SC0	3.3^{D}	KF60	8.7^{E}	KF30C	6.6^{D}
KF60	17.4^{D}	KF60	3.6^{D}	KF90	8.9^{E}	KF60	7.3^{D}
평 균	11.52	평균	2.26	평균	3.43	평균	3.72
표준편차	3.5	표준편차	0.97	표준편차	2.49	표준편차	2.71

* 알파벳은 통계적으로 유의한 grouping을 나타냄

60도, 90도 그리고 120도에서 높은 불편도를 보였고, 의자높이 20cm와 40cm에서는 낮은 불편도를 보였다. 종아리에 대한 주관적 불편도의 분석에서도 허리, 허벅지와 마찬가지로 무릎각도 60도 90도에서 높은 불편도를 보였으며, 다른 신체 부위와는 달리 무릎각도 30도+까치발 자세에서 종아리 부위에 높은 불편도를 보였다. 반면, 의자높이 20cm, 40cm, 0cm, 선 자세, 그리고 책상다리 자세에 대해서는 낮은 불편도를 보였다.

위의 결과를 종합해보면 무릎각도 60도와 90도의 자세가 대체적으로 가장 큰 불편도를 나타냄을 알 수 있었으며, 의자높이 40cm와 의자높이 20cm, 그리고 책상다리로 앉은 자세에서 낮은 불편도를 나타냄을 알 수 있었다.

4.1.2 시간에 따른 각 자세 및 신체 부위별 평균 불편도 변화

그림 4~7은 시간의 변화에 따른 각 작업자세 별 신체 부위에 대한 평균 불편도의 변화를 나타낸 것이다. KF_60과 KF_90의 경우에는 대부분의 피실험자가 3분을 견디지 못하고 포기하였으므로 변화 정도를 알 수 없었다.

전신에 대한 불편도는 Borg's RPE를 사용하여 기록하였는데, 점수가 13점부터 다소 힘듦(somewhat hard)으로 볼 수 있다. 자세 별로 보면 무릎각도 90도와 60도에서 점수가 17점 정도로 매우 힘들다고 느끼고 있으며 무릎각도 30도+까치발 자세와 무릎각도 120도 그리고 다리괴기 자세에서는 시작 시에는 약간 힘든 정도를 느끼다가 시간이 갈수록 많게는 18점인 매우 힘들다(very hard)를 느낀다고 나타났다. 허리, 허벅지, 종아리의 경우에는 Borg's 10 point를 사용하였으며 점수가 4점일 경우 피실험자가 다소 힘듦(somewhat hard)이라고 볼 수 있다. 허리의 경우는 무릎각도 120도와 의자높이 0cm, 그리고 한쪽 다리괴기 자세에서 시간이 갈수록 약간 강한 정도의 불편도를 보이며, 허벅지의 경우는 무릎각도 90도와 60도의 경우는 상당히 강한 정도의 불편도를 보이고, 무릎각도 150도와 30도, 그리고 30+까치발과 다리괴기 자세에서는 시간이 지날수록 피실험자의 불편도가 증가함을 보였다. 종아리의 경우도 허벅지와 마찬가지로 무릎각도 90도와 60도의 경우는 상당히 강한 정도의 불편도를 느끼며, 무릎각도 150도와 30도, 그리고 30+까치발과 다리괴기 자세에서는 시간이 지날수록 피실험자의 불편도가 증가함을 보였다.

4.2 심박수

4.2.1 각 자세 별 평균 심박수

실험을 수행하는 동안 작업자세에 따른 각 작업자들의 심장박동수를 측정하여 통계적으로 분석한 결과 자세 별로

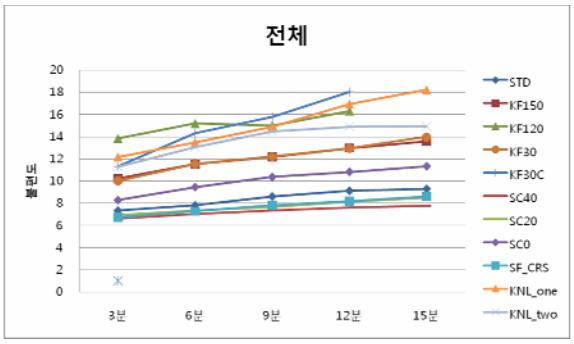


그림 4. 시간에 따른 불편도의 변화(전신)

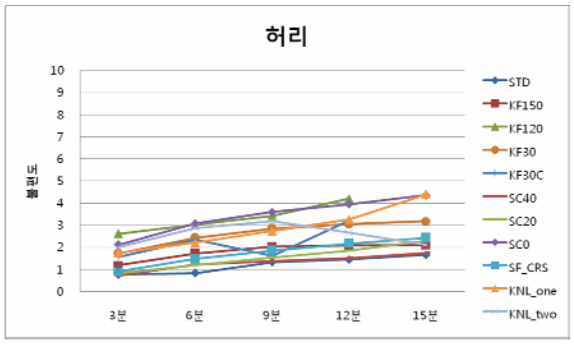


그림 5. 시간에 따른 불편도의 변화(허리)

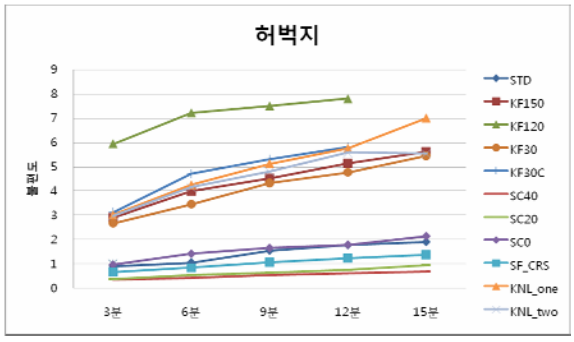


그림 6. 시간에 따른 불편도의 변화(허벅지)

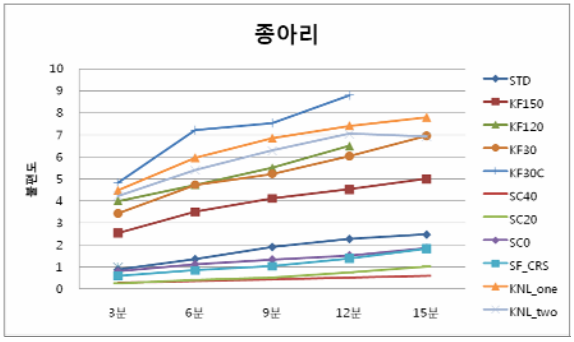


그림 7. 시간에 따른 불편도의 변화(종아리)

유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p< .05$). 평균 심장박동수가 가장 적게 나타난 자세는 책상다리로 앉은 자세(SF_CRS)와 의자높이 20cm에 앉은 자세(SC_20), 그리고 의자높이 40cm에 앉은 자세(SC_40), 의자높이 0cm에 앉은 자세(SC_0)인 반면, 높은 심장박동수를 보인 자세로는 선 자세(STD), 무릎각도 30(KF30), 무릎각도 30+까치발(KF30C), 그리고 한쪽, 양쪽 다리괴기(KNL_1, KNL_2)자세이며 가장 높은 심장박동수를 나타내는 자세로는 무릎각도 60(KF60), 무릎각도 90(KF90), 그리고 무릎각도 120(KF120)도로 나타났다(그림 8 참조).

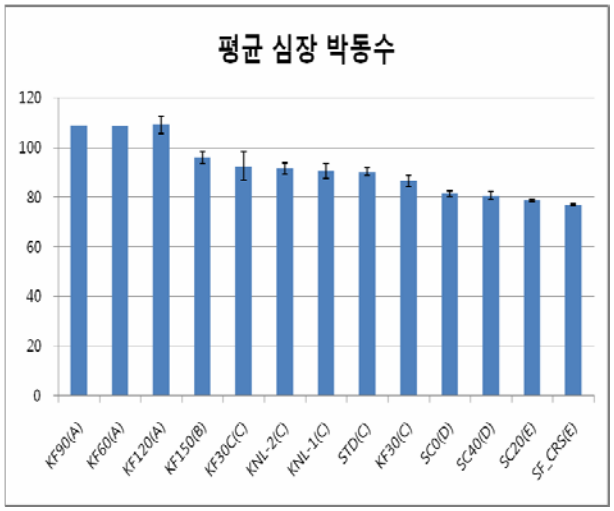


그림 8. 각 자세 별 평균 심장박동수

4.2.2 시간에 따른 각 자세 별 평균 심박수 변화

그림 9는 시간의 변화에 따른 각 자세 별 심박수의 변화를 나타낸다. 심박수에서도 불편도와 마찬가지로 KF60과 KF90의 경우에는 대부분의 피실험자가 3분을 견디지 못하고 포기하였으므로 변화 정도를 알 수 없었으며, 그 이외의 자세에서의 심박수의 변화는 선 자세나 앉은 자세에서 대부분 기울기 정도가 심하지 않는 반면, KF120과 KF30C에서 기울기 정도가 다소 큰 것으로 나타났다.

4.3 근전도

4.3.1 각 자세 별 평균 MDF

15분간의 실험을 통하여 각 작업자세에 대한 신체 부위별 근육들의 MDF를 측정하여 비교 평가하였다. 표 3은 각 자세 별 평균 MDF값을 보여주는데 전경골근을 제외한 다른 근육에 대해서는 대체적으로 무릎각도 120, 90, 그리고 60도에서 MDF가 낮은 값을 나타내고 있고, 반면에 의자높이 40, 20, 그리고 바닥에 앉은 자세와 양반다리 자세에서 상대적으로 MDF의 값이 높게 나오는 경향을 보이고 있다.

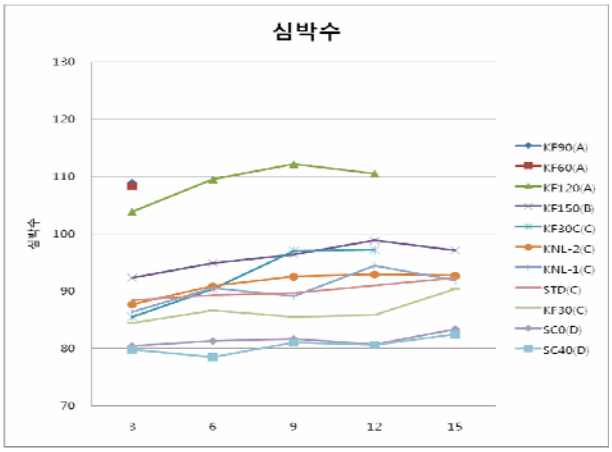


그림 9. 각 자세 별 시간에 따른 심박수의 변화

표 3. 각 근육들의 작업자세별 평균 MDF

	척추세움근	대퇴이두근	내측광근	비복근	전경골근
SC_40	88.7	100.1	154.1	167.6	93.9
SC_20	97.8	95.3	146.4	165.9	90.7
SC_0	91.4	85.8	137.3	161.1	96.3
SF_CRS	89.4	95.5	146.6	160.3	94.5
STD	91.5	92.4	135.7	123.5	98.8
KF_150	82.4	67.9	65.4	120.1	89.9
KF_30	85.4	86.9	121.7	117.4	99.9
KF_30C	78.4	86.3	115.0	109.2	89.7
KNL-two	90.3	73.9	115.8	107.8	91.5
KF_120	78.0	59.1	65.0	106.7	89.7
KF_90	70.6	54.5	70.2	98.0	100.4
KF_60	73.6	57.2	66.4	97.2	110.2
KNL-one	72.5	76.6	100.6	91.0	90.4

4.3.2 시간의 변화에 따른 각 자세 별 평균 MDF의 변화

각 근육 별로 작업자세에 대한 MDF의 변화량을 분석하였다. 초기 MDF값이 피실험자와 각 근육 별로 차이가 있으므로 normalized된 값을 사용 하였는데, normalized MDF 값은 다음과 같이 구하였다.

$$\text{Normalized MDF} = \frac{\text{매 분당 측정된 MDF 평균}}{\text{초기 측정된 MDF 평균}}$$

위 식을 바탕으로 도출한 값이 1보다 작으면 근전도의

MDF 값이 감소하였다고 볼 수 있다.

Normalized MDF의 변화량을 그래프로 나타낸 것이 그림 10~20과 같다.

선 자세(STD)에서는 비복근의 경우 시간이 지날수록 MDF값이 감소하는 경향을 나타내었으며 척추세움근의 경우 감소하다가 일정시간이 지난 후 미세하게 증가하는 경

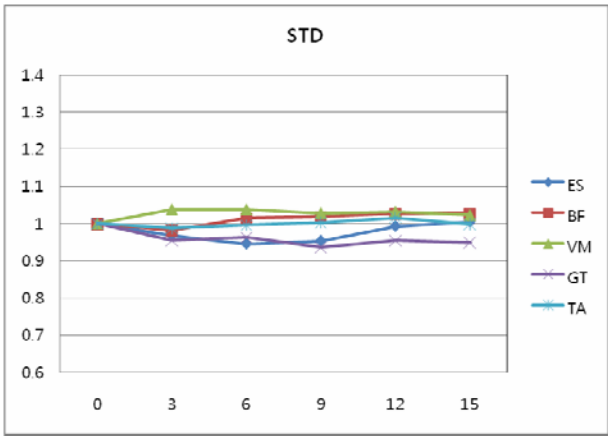


그림 10. 시간의 변화에 따른 MDF 변화(선 자세)

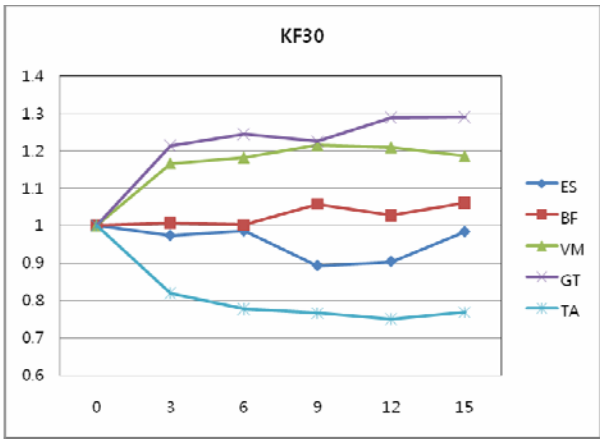


그림 13. 시간의 변화에 따른 MDF 변화(무릎각도 30)

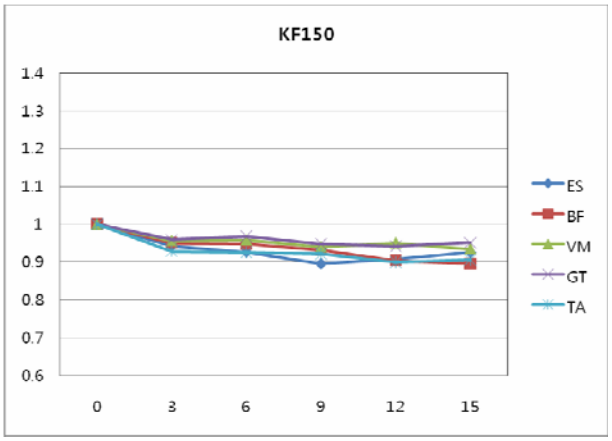


그림 11. 시간의 변화에 따른 MDF 변화(무릎각도 150)

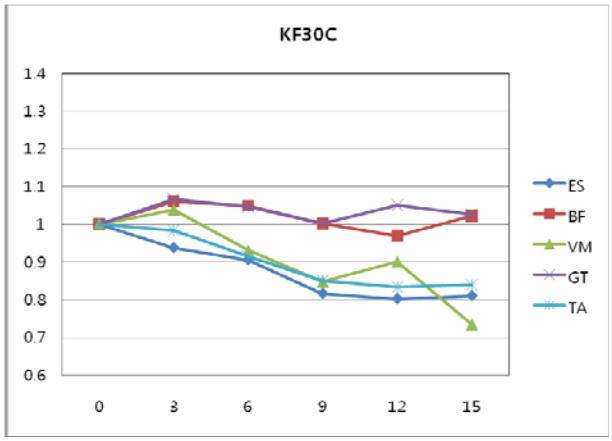


그림 14. 시간의 변화에 따른 MDF 변화(무릎각도 30+까치발)

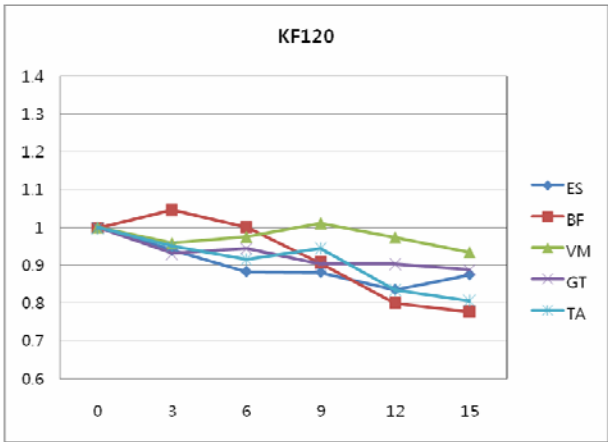


그림 12. 시간의 변화에 따른 MDF 변화(무릎각도 120)

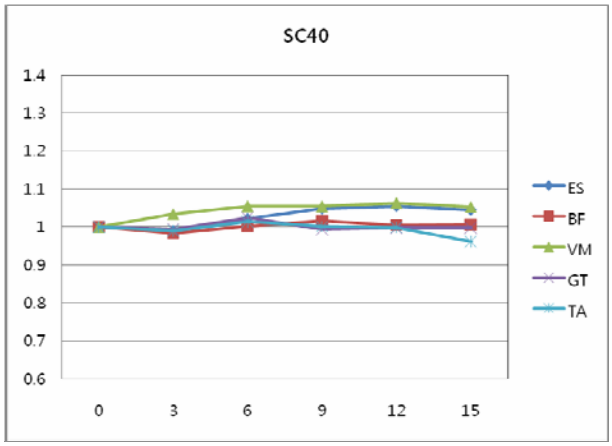


그림 15. 시간의 변화에 따른 MDF 변화(의자높이 40)

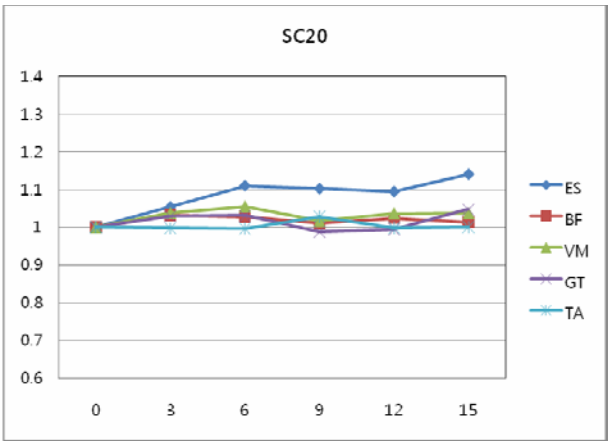


그림 16. 시간의 변화에 따른 MDF 변화(의자높이 20)

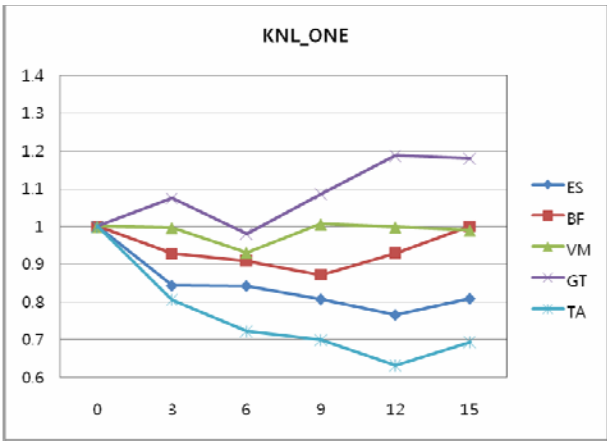


그림 19. 시간의 변화에 따른 MDF 변화(한쪽 다리괴기)

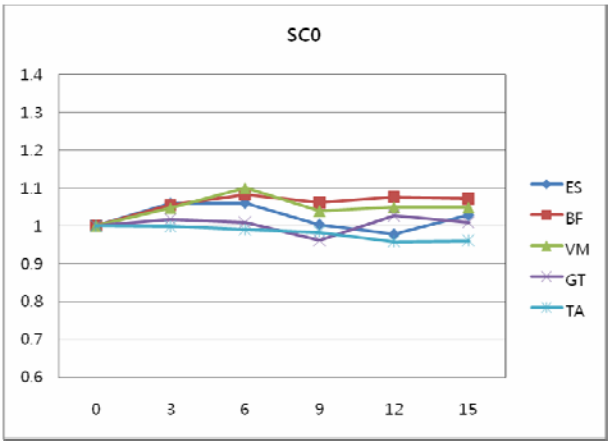


그림 17. 시간의 변화에 따른 MDF 변화(의자높이 0)

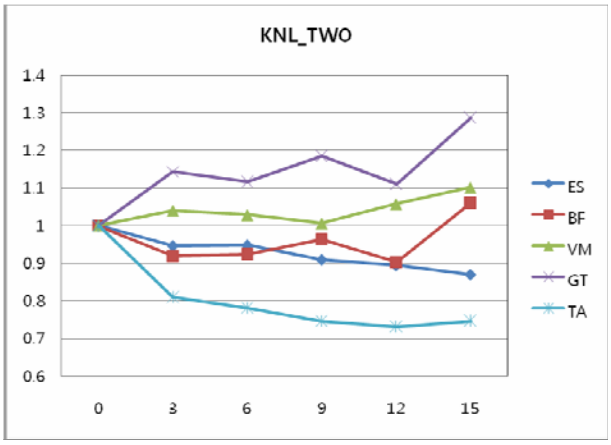


그림 20. 시간의 변화에 따른 MDF 변화(의자높이 0)

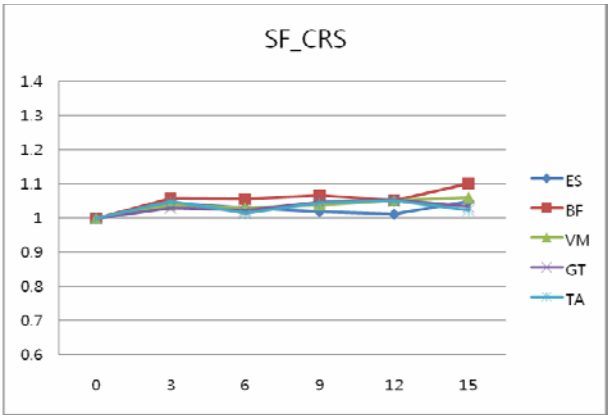


그림 18. 시간의 변화에 따른 MDF 변화(책상다리)

향을 보였다(그림 10). 무릎각도 150도에서는 시간이 지날수록 모든 근육의 MDF가 감소함을 보였으며, 무릎각도 120도의 경우에서도 150도에서와 마찬가지로 전체적으로 근육들의 MDF값이 감소하는 경향을 보였다(그림 11과 그림 12).

무릎각도 90도와 60도의 경우는 대부분의 피실험자가 6분을 넘기지 못하였으므로 증가 폭을 예측하기 어려웠다. 무릎각도 30도(그림 13)와 한쪽다리괴기(그림 19) 그리고 양쪽 다리괴기(그림 20)의 경우, 서로 유사한 경향을 보였는데, 대퇴이두근의 경우 1을 중심으로 감소하거나 다소 증가하는 경향을 보였으며, 비복근의 경우는 시간이 지남에 따라 다소 증가하는 경향을 보였다. 뚜렷이 보여지는 경향으로는 척추세움근과 전경골근의 시간에 따른 MDF값의 감소 경향을 볼 수 있었다. 무릎각도 30도+까치발의 경우는 대퇴이두근과 비복근은 변화가 다소 없는 반면, 척추세움근, 내측광근 그리고 전경골근 근육들의 MDF는 시간에 따라 감소추세를 보였다.

의자에 앉거나(그림 15~17) 책상다리(그림 18)의 경우는, 대부분 근육의 MDF값이 1에 가까운 경향을 나타내며,

특정 한 두 근육의 경우 약간 증가하는 경향을 보였다. 특히, 의자높이 20cm(그림 16)에서는 척추세움근의 MDF값이 초기보다 증가하는 경향을 보였다.

5. 토의 및 결론

관절각도에 따라 예상되는 위험도를 평가, 예측하기 위하여 13가지 자세를 선정하여 각 자세에 대한 불편도와 심박수 그리고 근전도 값을 측정하여 분석하였다.

실험 결과, 주관적 불편도에서 전신에 대한 불편도는 무릎각도 60도가 가장 높았고 그 다음으로 90도와 120도 순으로 나타났다. 그에 반해, 대체적으로 의자에 앉는 자세에서 낮은 불편도를 보였는데, 특히 의자높이 40cm에서 가장 낮은 불편도를 보였다. 허리에 대한 불편도 분석의 결과로는 무릎각도 60도와 90도, 그리고 의자높이 0cm에서 높은 불편도를 보였으나, 수치상으로는 평균 3.6 정도로 Borg's 10 point에서 적당한(moderate)수준으로 나타났다. 허벅지에서는 무릎각도 90도가 피실험자들이 가장 불편함을 느꼈으며, 그 다음이 무릎각도 60도, 120도 순이었다. 종아리의 경우는 무릎각도 60도가 가장 높은 불편도를 나타내었고, 그 다음으로 무릎각도 30도+까치발, 무릎각도 90도 순으로 나타났다. 이는 심박수 분석에서도 비슷하게 나타났는데 무릎각도 60도와 90도 그리고 120도에서 높은 심장박동수를 보여주었다. 또 다른 객관적 평가 지표인 근전도 결과에서도 각 자세 별 근육의 MDF값에 대한 분석에서 무릎각도 60도와 90도, 그리고 120도가 상대적으로 낮았으며, 시간에 따른 피로도 경향 또한 다른 자세보다 두드러짐을 볼 수 있었다. 그러므로, 본 실험을 통해 주관적 평가와 객관적 평가 결과가 유사한 경향을 보임을 알 수 있다.

시간에 따른 불편도의 변화에서는 전신의 경우 무릎각도 30+까치발 자세와 무릎각도 120도, 그리고 다리괴기 자세에서 초기에는 "약간 힘듦"에서 시간이 갈수록 "매우 힘듦"을 느낀다고 나타내었다. 그리고 허리, 허벅지, 종아리의 경우, 허리에서는 무릎각도 120도와 의자높이 0cm, 그리고 한쪽 다리괴기 자세에서 강한 정도의 불편함을 나타냈으며, 허벅지 종아리의 경우 무릎각도 150도와 30도 그리고 30+까치발자세와 한쪽 다리괴기 자세에서 불편도가 증가하는 추세를 보였으며 이는 종아리의 경우도 마찬가지였다.

한편, 근전도의 측정 결과 근육의 피로도를 평가할 수 있는 MDF의 결과를 보면 근육이 피로하면 Median Frequency의 낮은 쪽으로의 천이(Shifting)가 발생한다는 연구발표가 있다(현수돈, 김정룡 1997; Minning, et al., 2007). 본 연구의 근전도 변화에서도 앞에서 설명한 normalized MDF값이 1보다 작은 경우 근육이 피로하다고 볼 수 있다. 척추세움근의 경우 선 자세에서는 그래프의 기울기가 감소하다가 증가하는 경향을 보이며 나머지 자세에 대해서는 모두 감소하는 경향을 나타내었다. 그리고 비복근의 경우 선 자세와 무릎각도 150도 그리고 120도에서는 기울기가 감소하며 무릎각도 30도와 다리괴기 자세에서는 증가하는 경향을 나타내며 무릎각도30+까치발 자세에서는 뚜렷한 변화를 알 수가 없었다. 그리고 대퇴이두근의 경우에도 선 자세와 무릎각도 150도, 120도 그리고 다리괴기 자세에서 감소하는 경향을 보였으며 무릎각도 30도와 30+까치발 자세에서는 증가하는 경향을 보였다. 내측광근의 경우 무릎각도 150도와 30+까치발 자세에서 감소하는 경향을 나타내었다. 전경골근의 경우도 내측광근과 비슷하나 무릎각도 30도와 한쪽 다리괴기 자세에서 감소를 나타내었다.

이미 언급하였듯이, 근육의 주파수가 낮은 쪽으로 천이가 발생하면 근육이 피로하다는 사실은 일반적으로 알려져 있다. 그러나 몇몇 다른 연구결과에 따르면 대부분의 근육들의 주파수가 감소경향을 보인 반면, 특정근육의 주파수는 시간에 따라 다소 증가하는 경향이 보고되었으나, 그 이유에 대한 적절한 해석이나 해답이 언급되어 있지 않다(박지수 외, 2008; Arphorn, et al., 2008). 본 연구에서도 무릎각도 30도의 경우를 보면 전경골근이나 비복근에서 대조적인 경향을 보여주는데, 이는 전경골근이 무릎각도 30도를 유지하는데 있어서 주동근의 역할을 담당하는 반면, 비복근은 길항근의 역할을 함으로서, 시간이 경과됨에 따라 길항근의 근육이 이완됨으로서 발생하는 현상이라고 판단되어지나 정확한 해석을 위해서는 추후 연구과제로 남기고자 한다.

본 연구에서는 13가지 하지 자세에 대하여 각 신체 부위에 대한 주관적 불편도와 심박수를 측정하였고, 5가지 근육을 선정하여 그에 대한 근전도 데이터도 수집하였다. 이 결과는 산업현장이나 농작업 등에서 나타날 수 있는 다양한 하지 자세에 대한 기초자료로도 활용될 수 있을 것이며, 기존의 체크리스트에서 간과하고 있는 하지 부분에 대한 위험도의 분석 및 측정이 가능할 것이라 생각된다. 추후에는 상지의 자세와 더불어 실제 작업(즉, workload가 주어진 경우)을 함께 고려한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 논문은 2008년 농촌진흥청 국책공동연구사업의 지원을 받아 수행되었음.

참고 문헌

권영국, 이상훈, 지주옥, 백화점 근로자의 근 피로도 측정 및 정량화를 위한 근전도 평가, *대한인간공학회 학술대회논문집*, 216-222, 1999.

김유창, 류영수, 쪼그려 앉은 작업에서 신체부담작업의 평가, *대한인간공학회지*, 24(1), 37-41, 2005.

김정룡, 허리 폄 동작시 발생하는 근육피로 회복시간 연구, *대한인간공학회지*, 21(2), 25-33, 2002.

농림어업인의 주요 상병 및 건강행태 비교분석, *농업인건강안전정보센터*, 2004.

민병찬, 김전환, 전광진, 이동형, 김진수, 근전도에 의한 계단 상하행시 근 피로 비교, *한국산업경영시스템학회 학술대회지*, 73-76, 2006.

박지수, 이승주, 김정룡, 앉은 작업자세에서 어깨의 동작에 따른 최대 근력, 근육피로도와 주관적 작업부하 측정, *대한인간공학회 춘계 학술대회*, 국립금오공과대학교, 2008.

박희석, 공태식, 사무작업의 인간공학적 평가를 위한 자가 기입 체크리스트의 타당성 검토, *대한인간공학회지*, 25(2), 77-84, 2006.

산업재해원인조사 재해보고서, 산업재해현황(2003~2006)보고서, *한국산업안전공단*, 2006.

이인석, 정민근, 쪼그려 앉은 작업자세에서의 작업부하 평가, *대한인간공학회 학술대회논문집*, 제1권, 90-94, 1997.

이인석, 정민근, 기도형, 심물리학적 방법을 이용한 다양한 하지 자세의 부하 평가, *대한인간공학회지*, 21(4), 47-65, 2002.

이상도, 심정훈, 작업조건의 변화에 따른 상지의 피로 특성 분석, *산업경영시스템학회지*, 28(3), 75-86, 2005.

이태용, 김정룡, 신현주, 들기/내리기 빈도와 회복시 변화에 따른 몸통 근육의 피로도 분석, *대한인간공학회지*, 25(2), 197-204, 2006.

정명철, 김정룡, 근육피로도 분석시 사용되는 매개변수들간의 민감도 비교 연구, *대한인간공학회 학술대회논문집*, 제2권 406-313, 1997.

한정수, 김영은, 민기식, 안재용, 근피로도의 측정 및 정량화를 위한 근전도의 고찰, *대한기계학회 추계학술대회 논문집*, 342-347, 1997.

현수돈, 김정룡, High Heel이 허리 근육피로에 미치는 영향에 관한 연구, *대한인간공학회지*, 16(3), 37-48, 1997.

Aras, A., Westgaard, R. and Stranden, E., Postural angles as an indicator of postural load and muscular injury in occupational work situations, *Ergonomics*, 31, 915-933, 1988.

Armstrong, T., Buckle, P., Fine, L., Harberg, M., Jonsson, B., Kilbom, A., Kuorinka, I., Silverstein, B., Sjogaard, G. and Viikari-Juntura, E., A conceptual model for work-related neck and upper-limb musculoskeletal disorders. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 19, 73-74, 1993.

Arphorn, S., Limmongkok, Y., Pruktharathikul, V., Jalayondeja, W. and Chaikittiporn, C., The modified sculptors' workstation in pottery handicraft for reducing muscular fatigue and discomfort, *The 8th IIES International Symposium, the 1st East Asian Ergonomics Federation Symposium*, UOEH, Japan, 2008.

Bernard, B. (Ed.), Musculoskeletal disorders and workplace factors: A critical review of epidemiological evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and lower back. *DHHS(NIOSH) Publication No. 97-141, US Department of Health and Human Services*, 1997.

Chung, M., Lee, I., Kee, D. and Kim, S., A postural workload evaluation system based on a macro-postural classification, *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 12(3), 267-277, 2002.

Corlett, E., Wilson, J. and Manenica, I., *The ergonomics of working postures: Models, methods and cases*, London: Taylor & Francis, 1986.

Lee, I. and Chung, M., Workload evaluation of squatting work postures. In: L. Straker, and C. Pollock, (Eds.), *CD-ROM Proceedings of CybErg 1999: The second International Cyberspace Conference on Ergonomics, The International Ergonomics Association Press, Curtin University of Technology*, Perth, Australia, 597-607, 1999.

Lee, S., http://www.arthritiscenter.co.kr/, Unpublished Clinical Report, 2004.

Minning, S., Eliot, C., Uhi, T. and Malone, T., EMG analysis of shoulder muscle fatigue during resisted isometric shoulder elevation, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 17, 153-159, 2007.

Perotto, A., Anatomical Guide for the Electromyographer: *The Limbs and Trunk, 4th Edition*, Charles C Thomas Publisher, Ltd., Springfield, Illinois, USA, 2004.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 공 용 구 ❖ ykong@skku.edu
미국 펜실베니아 주립대학교 산업공학과 박사
현 재: 성균관대학교 산업공학과 조교수
관심분야: 인간공학적 제품 디자인 및 평가, 근골격계 질환 예방 및 분석

❖ 김 대 민 ❖ kimdaemin@skku.edu
대진대학교 산업공학과 학사
현 재: 성균관대학교 산업공학과 박사과정
관심분야: 인간공학적 제품 디자인 및 평가, 근골격계 질환 예방 및 분석

❖ 이 수 진 ❖ sjlee@hanyang.ac.kr
가톨릭대학교 의학박사(예방의학)
현 재: 한양대학교 산업의학과 부교수/학과장
관심분야: 산업 환경 의학 및 인간공학을 통한 직업성 질환의 예방 및 치료

❖ 이 재 훈 ❖ ds5cjn@hanmail.net
대구대학교 분자생물학 학사
현 재: 한양대학교 산업의학교실 연구원
관심분야: 인간공학적 분석을 통한 산업 환경의 분석 및 평가

❖ 이 용 호 ❖ lyk97-lee@hanmail.net
서울대학교 보건대학원 석사
현 재: 한양대학교 산업의학교실 연구원
관심분야: 인간공학적 분석을 통한 산업 환경의 분석 및 평가

❖ 이 경 숙 ❖ leeks@rda.go.kr
현 재: 국립농업과학원 농업공학부 농업재해예방과 농업연구관
관심분야: 농작업 안전에 대한 기술 개발 및 농작업 재해 원인 규명 및 예방

❖ 손 성 태 ❖ stsohn37@skku.edu
남서울대학교 산업공학과 학사
현 재: 성균관대학교 산업공학과 석사과정
관심분야: 인간공학적 제품 디자인 및 평가, 근골격계 질환 예방 및 분석

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2008년 11월 25일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2009년 02월 23일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2009년 02월 25일